

机械与过程控制

基于小波分析的自动包装机快速称量系统

吕敬^{1,2}

(1.河海大学, 南京 210000; 2.无锡工艺职业技术学院, 宜兴 214200)

摘要: **目的** 随着袋装商品需求的增加,设计一种新型包装机自动称量系统来快速完成称量包装。**方法** 设计一种基于 ARM 最小系统的包装机控制系统,其中包括灵敏度为 2 mV/V 双应变片称量结构、mV 级别的数模转换电路和驱动电路等多个部分,并且通过编写称量流程、AD 设备驱动和小波变换提取等软件系统,最后利用质量采集和响应对比实验分析系统。**结果** 实验发现,小波变换提取信号在 0.2 ms 即可稳定识别的质量为 300 g。**结论** 结果证明所设计的自动包装系统可以稳定实现各类袋式产品的快速称量封装。

关键词: 小波变换; 自动包装; 嵌入式; 称量

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)23-0122-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.23.021

Fast Weighing System of Automatic Packaging Machine Based on Wavelet Analysis

LYU Jing^{1,2}

(1.Hohai University, Nanjing 210000, China; 2.Wuxi Institute of Arts & Technology, Yixing 214200, China)

ABSTRACT: The work aims to design a new automatic weighing system of the packaging machine to complete weighing and packaging quickly, with the increasing demand for bagged goods. A packaging machine control system based on the ARM minimum system was designed, which included the weighing structure of 2 mV/V double strain gauge, the DAC conversion circuit and the driving circuit of the mV level. Moreover, the weight acquisition and response comparison experiment were finally used to analyze the system by programming the software systems like weighing process, AD device driver and wavelet transform extraction. Based on the experiment, the weight that could be stably identified was 300 g when the wavelet transform extraction signal was at 0.2 ms. The results show that the designed automatic packaging system can achieve the fast and stable weighing and packaging of all kinds of bagged products.

KEY WORDS: wavelet transform; automatic packaging; embedded type; weighing

随着包装产品需求量日益增加,自动包装机速度和精度都需要进行相应提高,但是在提高系统运行速度过程中系统噪声越来越强烈影响到了采集信号,造成包装袋内产品质量误差变大,需要设计滤波效果和检测精度更好的称量包装系统^[1]。

一般高速包装机控制系统实时性和精度都不是很高,应用单片机等低端芯片都不能很好地保证系统运算速度,为提高包装机检测精度和响应速度设计硬件和软件平台。硬件平台利用 STM32 作为最小系统并设计双应变片称量结构、双路 AD 快速转换电路和电机驱动电路等嵌入式模块,保证硬件平台

稳定的基础上把小波分解法融入到采集系统中,并通过包装机称量程序完成快速检测的任务,最后通过实时采集称量信号进行不同方法效率和精确度对比。结果表明小波分析的包装系统可以快速稳定完成称量任务。

1 袋式自动包装机工艺

袋装自动包装机主要由称量机构和包装机构 2 个部分组成,而控制系统主要依靠机械结构进行执行,因此在进行控制系统设计之前必须对机械结构即

收稿日期: 2018-04-16

作者简介: 吕敬(1983—),男,助理实验师,主要研究方向为物联网及图像识别。

被控对象流程作详细说明^[2]。整体工艺流程和结构见图 1，重要结构包括对称的应变片、检测电路、上料机构和包装机构，称量部分采用双应变传感器的桥式结构可以有效降低系统检测误差。机械系统中输入机构包括电阻式应变片和传送电机转速等，因此在设计包装控制系统时需要设计高精度电压采集和电机驱动电路等^[3]。

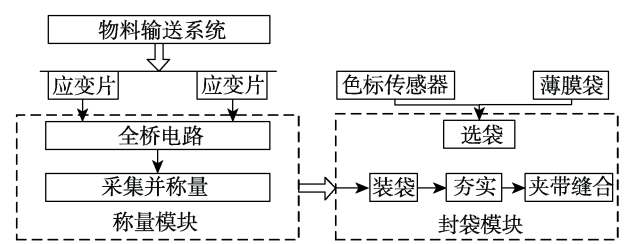


图 1 自动包装机结构
Fig.1 Structure of automatic packaging machine

由于工厂嘈杂环境和机械高速运行振动会严重影响采集的称量信号，需要采用小波算法对电压信号进行分解，现存电压提取方法有 EMD（经验模态分解）、小波变换等，在非线形滤波方法中小波变换表现出了巨大优势。小波变换也可以分为不同种类例如单小波、多小波、分解法等^[4]，经对比发现基本的小波变换在提取称量信号时计算速度快且滤波效果好，因此采用小波分解变换法对应变电压信号进行提取，小波分解变换算法应用过程见图 2^[5]。首先确定系统要采用的小波基函数类型并确定分解层数，然后用用户函数对多层小波进行选取。

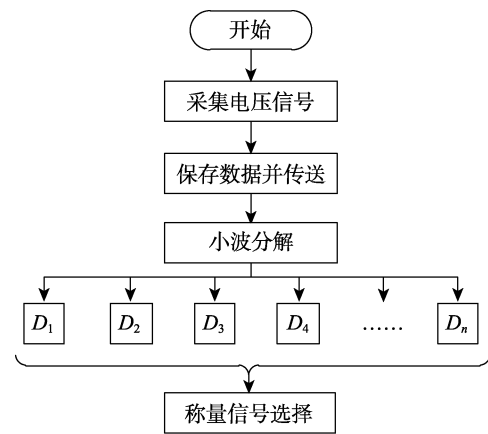


图 2 小波分解称量信号提取
Fig.2 Wavelet decomposition weighing signal extraction

2 包装机硬件系统设计

嵌入式控制系统由于执行效率高、成本低、扩展能力强等优点被广泛应用到各种设备中，在自动包装

控制系统中电阻应变片、多 AD 快速采集、电机驱动等控制技术在嵌入式电路中已经被广泛应用了，因此开发自动包装机仪表控制系统的周期和可靠性都可以满足自动控制要求。

2.1 应变片桥式检测模块

根据夹带装置、称量仪表、传送带、缝纫机和蹲袋等机械装置构建硬件电路整体结构组成。控制系统的硬件电路主要以 STM32 最小系统为计算核心，扩展±5 V 内称量传感器电压输入采集电路^[6]，采集电路包括称量传感器信号双桥电路和双路 A/D 转换电路，具体应变片应用和检测电路见图 3。通过 3 V 的纽扣电池供电应变片输出电流，在应变片中间接入滑动变阻器可以实现传感器电路的快速校准，输出电路接入 10 倍的放大器跟随电路，并且设计 2 个一阶滤波器滤除信号中的高频噪声，最后称量电压信号以差分形式传输到后续电路。

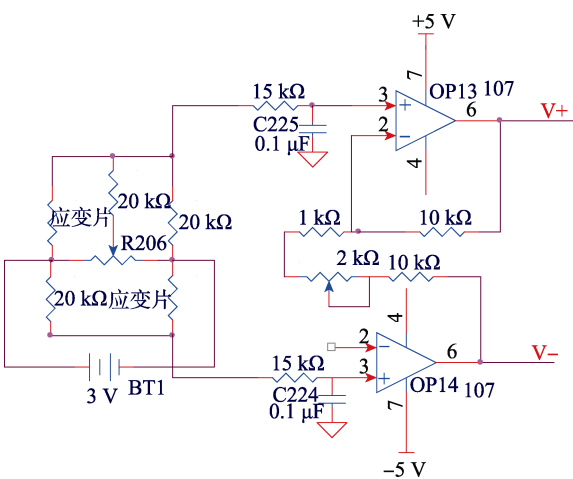


图 3 应变片双桥检测电路
Fig.3 Double bridge detection circuit for strain gauge

2.2 双通高速 AD 采集电路

信号采集转换电路在整个硬件系统中非常重要，此电路主要任务是把双路应变片传感器输出的电压信号转换为数字量信号，可以提供给 MCU 进行读取和计算^[7]。采用双通道 A/D 芯片 AD9695 作为电压采集核心见图 4，作为一个 14 位 A/D 快速转换芯片，它可以对信号实现 128 倍的低噪声编程放大^[8]。芯片使用过程完全通过编程方式实现，它内部没有复杂的寄存器，芯片上电后会自动进行初始化等操作。称量传感器通过差分方式接入 V-和 V+，芯片内工作通道和放大倍数通过 SPI 引脚发送脉冲完成控制，芯片通过外部 75M 高速时钟可以保证芯片的转化效率。电路设计图中只接入了一个应变传感器，另一个通道接法完全相同。

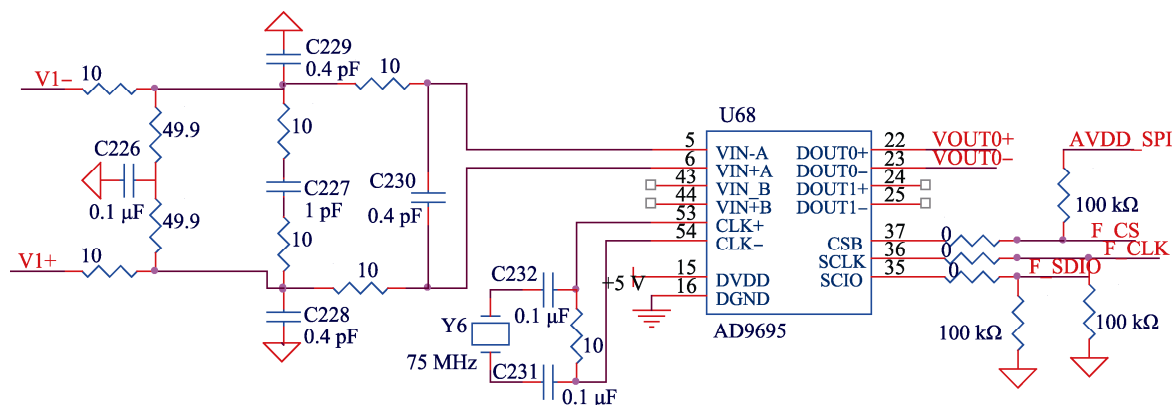


图 4 双路高速 A/D 转换电路

Fig.4 Double-circuit high-speed A/D conversion circuit

2.3 电机驱动电路

设备驱动电路是为了控制自动包装机执行结构，比如电机、蹲袋气缸、缝纫电机等都带有强磁干扰信号，而控制核心 MCU 最怕接收到外接受强电磁信号^[9]，因此必须在 STM32 控制接口处设置外围驱动电路，整体设计见图 5。在处理器上可以使用的最大

电压是 5 V，而被控对象控制引脚最低电压为 12 V，两者之间的电压差会造成额外灌电流现象，L298N 可以实现 3 A 大电流输出，电源引脚 VSS 上面接入大小 2 个电容滤波和指示灯^[10]，可以控制四相步进电机，电机输出信号线都采用±12 V 电源钳制传输信号^[11]。

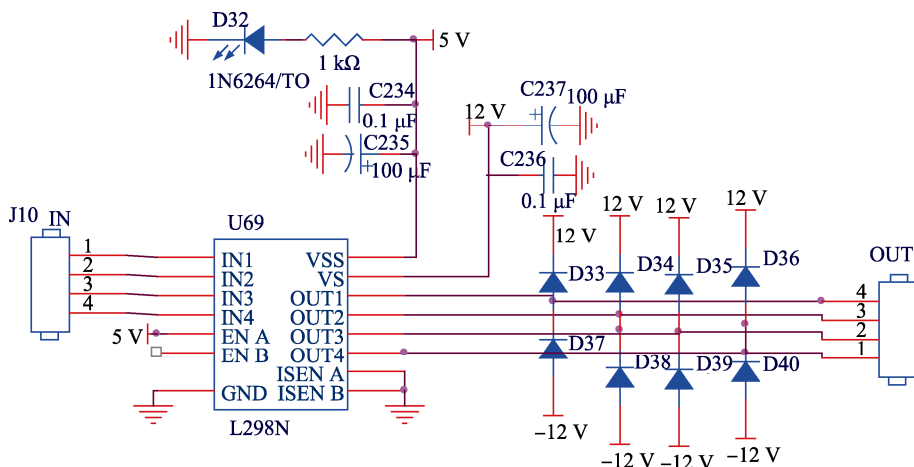


图 5 电机驱动接口电路

Fig.5 Motor drive interface circuit

3 包装机软件系统设计

在包装机主要硬件系统搭建完成后，需要根据控制流程在硬件平台中开发对应控制程序，从包装工艺流程、称量信号采集驱动和小波特征提取等部分开发，软件程序设计以高可靠性和精度为准进行开发。

3.1 称量系统流程

自动包装结构需要一次流程就可以完成包装过程，具体流程控制程序见图 6，系统主要参数通过人为设置。包装流程开始过程中先要进行 MCU 自检、输入传感器和电磁阀复位等初始化^[12]，确认系统无误后再执行 A/D 信号采集过程中，把采集完的电压信

号转换成质量数值，通过计算设定和读取差值把包装质量控制在可控范围内，称量过程采用电机闭环控制方式来提高精度。质量满足要求后再进行输出信号控制，主要包括气缸伸缩蹲袋、传送带输送和缝纫机封袋等过程，在经过最后一步封袋后就完成了一次包装过程。

3.2 AD 采集驱动程序

在自动包装控制系统中，驱动程序开发主要包括被控对象和信号采集 2 部分驱动，控制部分信号驱动以输出精准控制为主，而信号采集部分以 A/D 转换芯片为主，需要完成数据输入、通道选择和编程增益等控制，因此重点介绍传感器采集信号的驱

动程序^[13]。信号采集核心驱动程序见图 7，程序主要完成 A 通道在 128 倍放大下转换结果的读取，并把数据保存到寄存器中并通过函数返回。首先要读取 DOUT 引脚状态，判断芯片是否处于数据读取过程中，在收到低电平信号后通过控制 PD 脉冲引脚读取芯片输入引脚信号。数据读入过程采用脉冲移位原理即 SCK 引脚每接收到 1 个时钟上升沿信号就移位保存 1 位数据。

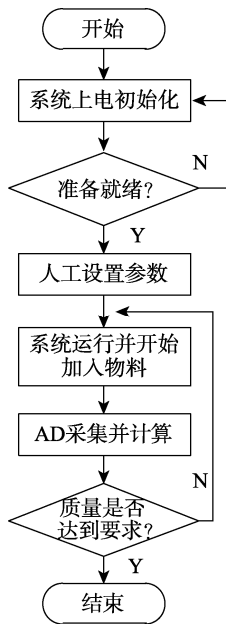


图 6 称量整体采集流程
Fig.6 Overall acquisition flow chart of weighing

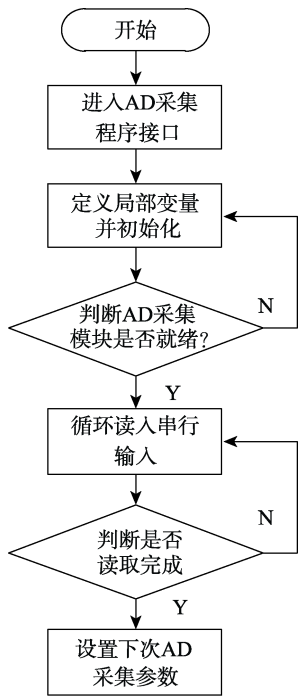


图 7 A/D 采集称量电压程序
Fig.7 A/D acquisition weighing voltage program

3.3 小波分解提取称量特征

在包装过程中核心环节就是称量质量和速度，包装质量涉及到产品质量和成本，为了提高称量快速响应过程已经采用了闭环和高速 AD 采集电路进行信号提取，把采集到的电压信号实时转为质量信号可以大幅度提高系统响应速度，因此该系统采用小波分解电压信号快速精准提取电压信号的方法^[14]，具体实施过程步骤如下所述。

1) 多次采集称量电压信号并取平均值，利用平均值得出均值矩阵 $[X, Y]$ ，对信号进行分类并取出低 X 类中的抽样 Y ，计算公式为：

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^n Y_j}{n_i} \tag{1}$$

式中： n 为样本总数； y 为称量信号中的样本分类信号平均值。

2) 依据电压振动特征对信号进行分解，滤除掉小波分量中的高频样本和低频样本，利用小波基函数选取出最有效的称量信号。

3) 利用预测值与检测值方差判断检测结果是否符合要求，不符合条件的还有再次电压采集判断。

4 自动包装机称量性能实验

为验证自动包装系统的可靠性，搭建成型的自动包装生产线并进行验证，包装过程中比较重要的检测过程是称量信号，其中控制过程是动作执行不再说明，采用包装机对比较重的面粉进行称量测试^[15]。选择 0.4 kg 面粉进行包装测试，一次成型整体流程运行时间在 0.5 s 左右，加入物料用时 0.1 s，称量过程见图 8。在导入物料过程中，系统在逐渐加入面粉称量直到 400 g，但是称量信号中还有面粉振动产生的高斯白噪声，因此采集的电压会有尾货微弱波动，称量与采集电压经过拟合后呈现出线性的关系证明了称量系统精度。

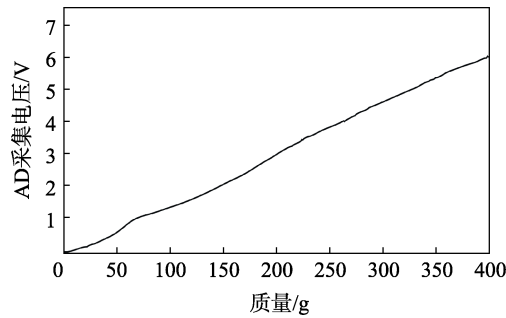


图 8 称量精度检测
Fig.8 Weighing precision detection

根据实际测试的称量电压信号判断称量结构能否满足系统要求，提前称量出来 300 g 的面粉包装，

控制 2 个面粉同时放入到普通称量设备和小波分析的包装系统中,检测结果见图 9,经过阈值滤波后称量电压中的噪声信号已经被滤除掉了^[16],2 种系统在检测精度上几乎没有差异,因为检测精度主要与系统硬件相关,但是在特征提取速度上,小波变换明显更有优势,可以提前 0.05 s 识别出称量信号。

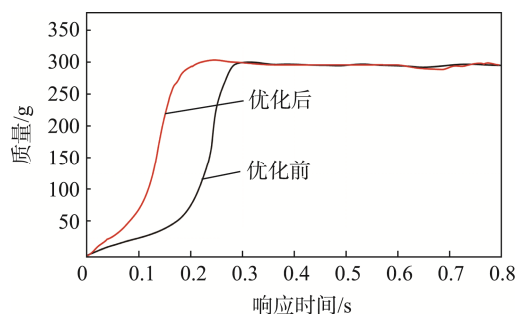


图 9 称量 300 g 响应时间对比
Fig.9 Response time comparison of weighing 300 g

5 结语

设计了一种可以实现快速装袋要求的自动包装系统,采用高精度硬件和称量特征快速提取软件,根据机械工艺设计全桥应变片称量结构、双路高速 A/D 采集电路和电机驱动电路等模块,并进行包装主流程、信号采集驱动、小波分解等程序的开发,最后通过袋封面粉的过程验证系统精度。结果表明,该控制系统可以适用于不同自动袋装系统,且可以高效稳定地完成控制任务。

参考文献:

- [1] 王中元, 武艳慧. 枕式包装机运动分析及控制系统设计[J]. 包装工程, 2017, 38(1): 163—168.
WANG Zhong-yuan, WU Yan-hui. Motion Analysis and Control System Design of Pillow Packing Machine[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(1): 163—168.
- [2] 康瑞芳, 刘鑫. 基于 DSP 全自动食品包装机控制系统设计[J]. 控制工程, 2017, 24(2): 336—340.
KANG Rui-fang, LIU Xin. DSP Based Automatic Food Packaging Machine Control System Design[J]. Control Engineering, 2017, 24(2): 336—340.
- [3] 樊勇, 徐海飞. 高速小袋包装机控制系统的设计[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 125—129.
FAN Yong, XU Hai-fei. Design of Control System for High-speed Pocket Packer[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 125—129.
- [4] 孙俊灵, 孙光民, 马鹏阁, 等. 基于对称小波降噪及非对称高斯拟合的激光目标定位[J]. 中国激光, 2017, 44(6): 178—185.
SUN Jun-ling, SUN Guang-min, MA Peng-ge, et al. Laser Target Localization Based on Symmetric Wavelet Denoising and Asymmetric Gauss Fitting[J]. China laser, 2017, 44(6): 178—185.
- [5] 杨颢颖, 孙曼, 贾峰. 含噪电能质量信号小波降噪的方法与改进[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(6): 9—12.
YANG Xie-ying, SUN Man, JIA Feng. Noise Reduction and Denoising Method of Noisy Power Quality Signals[J]. Laboratory Research and Exploration, 2017, 36(6): 9—12.
- [6] 李培兴, 孙以泽, 李培波. 并行存储策略在裤袜自动包装机中的应用[J]. 机床与液压, 2016, 44(9): 31—34.
LI Pei-xing, SUN Yi-ze, LI Pei-bo. Application of Parallel Storage Strategy in Tights Automatic Packaging Machine[J]. Machine Tool And Hydraulic, 2016, 44(9): 31—34.
- [7] 郑兆后, 李树君, 王冰, 等. 鲜切果蔬包装机输送机构仿真与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 252—258.
ZHENG Zhao-qi, LI Shu-jun, WANG Bing, et al. Simulation and Experiment of Conveying Mechanism of Fresh Cut Fruit and Vegetable Packaging Machine[J]. Acta Agronomica Sinica, 2016, 47(7): 252—258.
- [8] 赵怀山, 郭伟超, 高新勤, 等. 基于小波降噪和主成分分析的结构损伤识别[J]. 西安理工大学学报, 2017, 33(4): 437—442.
ZHAO Huai-shan, GUO Wei-chao, GAO Xin-qin, et al. Structural Damage Identification Based on Wavelet Denoising and Principal Component Analysis[J]. Journal of Xi'an University of technology, 2017, 33(4): 437—442.
- [9] 齐扬阳, 于淼, 关志强. 基于小波降噪和盲源分离的跳频通信抗干扰方法研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2015, 35(1): 72—78.
QI Yang-yang, YU Miao, GUAN Zhi-qiang. Research on Anti-interference Method of Frequency Hopping Communication Based on Wavelet Denoising and Blind Source Separation[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2015, 35(1): 72—78.
- [10] 李诗龙, 邹俊刚, 鲁珺. 全自动双秤斗颗粒料包装机的研制[J]. 粮食与饲料工业, 2014(12): 40—43.
LI Shi-long, ZOU Jun-gang, LU Jun. The Development of Automatic Double Weighing Hopper Granular Packing Machine[J]. Grain and Feed Industry, 2014(12): 40—43.
- [11] 魏玉明, 张永志, 王涛, 等. 基于小波包能量特征向量的结构动力响应损伤识别[J]. 地震工程学报, 2017, 39(6): 1156—1160.
WEI Yu-ming, ZHANG Yong-zhi, WANG Tao, et al. Damage Identification of Structural Dynamic Response Based on Wavelet Packet Energy Eigenvector[J]. Journal of Earthquake Engineering, 2017, 39(6): 1156—1160.

- 1156—1160.
- [12] 郑兆后, 马季威, 杜志龙, 等. 负压式生鲜食品包装机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 344—351.
ZHENG Zhao-qi, MA Ji-wei, DU Zhi-long, et al. Design and Experiment of Negative Pressure Fresh Food Packer[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 49(1): 344—351.
- [13] 王川川, 曾勇虎, 赵明洋, 等. 基于小波降噪和盲源分离算法的信号分离方法研究[J]. 电光与控制, 2017, 24(7): 7—11.
WANG Chuan-chuan, ZENG Yong-hu, ZHAO Ming-yang, et al. Signal Separation Method Based on Wavelet Denoising and Blind Source Separation Algorithm[J]. Electro-optic and Control, 2017, 24(7): 7—11.
- [14] 向丹, 邵忠良. 包装机移动平台电液同步控制系统的设计[J]. 液压与气动, 2014(7): 60—63.
XIANG Dan, SHAO Zhong-liang. The Design of the Electro-hydraulic Synchronous Control System for the Mobile Platform of Packaging Machine[J]. Hydraulic and Pneumatic, 2014(7): 60—63.
- [15] 吕健群, 温浩然, 史珊海. 基于等效的单体包装机软件模块化设计研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(2): 134—135.
LYU Jian-qun, WEN Hao-ran, SHI Shan-hai. Based on the Software Modular Design of the Equivalent Single Body Packaging Machine Research[J]. Combined Machine Tool and Automatic Processing Technology, 2017(2): 134—135.
- [16] 胡汪洋, 曹成茂, 吴正敏, 等. 小袋山核桃仁包装机袋膜纠偏模糊控制系统设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 59—65.
HU Wang-yang, CAO Cheng-mao, WU Zheng-min, et al. Design of Fuzzy Control System for Bag Film Rectifying Bias in the Bag of Walnut Kernel Packaging Machine[J]. Food and Machinery, 2017, 33(8): 59—65.